

PENGARUH HAMBATAN SAMPING TERHADAP KARAKTERISTIK LALU LINTAS DENGAN METODE GREENSHIELD DAN GREENBERG

Tiurma Elita Saragi¹, Nurvita Insani Simanjuntak², Chlara Chindy Hutagalung³

^{1,2,3}Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen Medan
email : tiurma.saragi@uhn.ac.id¹, nurvita.simanjuntak@uhn.ac.id²,
chlara.hutagalung@student.uhn.ac.id³

ABSTRAK

Jalan Patuan Anggi Kecamatan Sibolga Kota merupakan salah satu jalan yang cukup padat di Kecamatan Sibolga Kota akibat adanya hambatan samping berupa pejalan kaki, parkir, kendaraan yang masuk dan keluar dan kendaraan yang lambat. Selain itu, kepadatan lalu lintas ini muncul karena adanya aktivitas pasar yang merupakan tempat bertemunya penjual dan pembeli. Hal ini dapat menyebabkan lebar efektif jalan menjadi berkurang sehingga kecepatan perjalanan menjadi rendah dan pada jam-jam tertentu sering terjadi kemacetan. Adapun tujuan penelitian adalah untuk mengetahui hubungan volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas, mengetahui nilai arus dan kepadatan maksimum dan mengetahui pengaruh hambatan samping pada ruas Jalan Patuan Anggi Kecamatan Sibolga Kota. Dalam penelitian ini untuk menentukan karakteristik lalu lintas digunakan dua metode model pendekatan, yaitu Greenshield dan Greenberg. Hasil analisa hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan didapat pada kondisi ada hambatan samping dengan metode Greenshield, meliputi Senin, $Q_{maks} = 317,20$ smp/jam dengan $K_{maks} = 65,03$ smp/km; Rabu, $Q_{maks} = 1.020,59$ smp/jam dengan $K_{maks} = 116,65$ smp/km; Sabtu, $Q_{maks} = 1.237,79$ smp/jam dengan $K_{maks} = 128,47$ smp/km. Pada kondisi ada hambatan samping dengan metode Greenberg, Senin, $Q_{maks} = 9,1$ smp/jam dengan $K_{maks} = 910$ smp/km; Rabu, $Q_{maks} = 7,9$ smp/jam dengan $K_{maks} = 790$ smp/km; Jumat, $Q_{maks} = 8,1$ smp/jam dengan $K_{maks} = 810$ smp/km; Sabtu, $Q_{maks} = 8,7$ smp/jam dengan $K_{maks} = 870$ smp/km. Adapun tingkat pelayanan memiliki tingkat pelayanan E dimana arus dipaksakan, kecepatan rendah, volume diatas kapasitas dan antrian panjang (macet).

Kata Kunci : Greenshield, Greenberg, karakteristik lalu lintas, hambatan samping, tingkat pelayanan

ABSTRACT

Patuan Angi Street, Sibolga Kota District is one of the most congested roads in Sibolga Kota District due to side obstacles in the form of pedestrians, parking, vehicles entering and exiting and slow vehicles. In addition, this traffic density arises due to market activity which is a meeting place for sellers and buyers. This can cause the effective width of the road to be reduced so that the travel speed becomes low and at certain hours there is often congestion. The purpose of the study was to determine the relationship between volume, speed and traffic density, determine the maximum flow and density values and determine the influence of side obstacles on the Patuan Anggi Road section, Sibolga Kota District. In this study to determine traffic characteristics, two approach model methods were used, namely Greenshield and Greenberg. The results of the analysis of the relationship between volume, speed and density, it was obtained that there were side obstacles with the Greenshield method, Monday, $Q_{max} = 317.20$ smp/hour, $K_{max} = 65.03$ smp/km; Wednesday, $Q_{max} = 1,020.59$ smp/hour with $K_{max} = 116.65$ smp/km; Friday, $Q_{max} = 997.21$ smp/hour, $K_{max} = 115.31$ smp/km; Saturday, $Q_{max} = 1,237.79$ smp/hour with $K_{max} = 128.47$ smp/km. In conditions of side obstacles with the Greenberg method, Monday, $Q_{max} = 9.1$ smp/hour

with $K_{max} = 910$ smp/km; Wednesday, $Q_{max} = 7.9$ smp/hour with $K_{max} = 790$ smp/km; Friday, $Q_{max} = 8.1$ smp/hour with $K_{max} = 810$ smp/km; Saturday, $Q_{max} = 8.7$ smp/hour with $K_{max} = 870$ smp/km. The level of service has level E, where the current is forced, low speed, volume above capacity and long queues (jams).

Keyword : *Greenshield, Greenberg, traffic characteristics, side obstacles, level of services*

PENDAHULUAN

Jalan raya merupakan sarana transportasi darat yang sangat penting dalam sektor perhubungan darat sebagai potensi pengembangan suatu wilayah serta berpengaruh terhadap perkembangan sosial dan ekonomi masyarakat. Dengan meningkatnya jumlah kendaraan di jalan raya dan tidak diimbangi dengan peningkatan sarana dan prasarana lalu lintas menyebabkan meningkatnya kepadatan arus lalu lintas yang akhirnya akan terjadi konflik-konflik di jalan raya seperti kemacetan lalu lintas. Salah satu permasalahan yang turut memperburuk kondisi lalu lintas yang akan dijadikan bahan penelitian adalah masalah pengaruh hambatan samping pada ruas jalan yang padat arus lalu lintasnya. Untuk itu diperlukan suatu perencanaan jalan yang dapat memperhitungkan kendaraan rencana yang akan melalui suatu ruas jalan, kecepatan rencana, volume dan kapasitas jalan. Parameter-parameter tersebut merupakan faktor penentu dalam karakteristik jalan. Peningkatan volume lalu lintas ditambah dengan adanya hambatan samping yang terjadi di sepanjang segmen jalan mengakibatkan perubahan pada perilaku lalu lintas. Peningkatan volume lalu lintas dapat menyebabkan berubahnya perilaku lalu lintas, sehingga secara teoritis terdapat hubungan yang mendasar antara volume dengan kecepatan dan kepadatan (Widodo, dkk, 2012).

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui antara volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas pada ruas Jalan Patuan Anggi, Kecamatan Sibolga Kota akibat adanya hambatan samping dengan menggunakan metode model *Greenshield* dan *Greenberg*, untuk mengetahui nilai arus dan kepadatan maksimum pada ruas jalan yang mengalami ada dan tanpa hambatan samping serta untuk mengetahui pengaruh hambatan samping pada ruas Jalan Patuan Anggi Kecamatan Sibolga Kota.

TINJAUAN PUSTAKA

Arus Lalu Lintas

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan bermotor yang melalui titik pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kendaraan/jam, smp/jam atau LHRT (Lalu Lintas Harian Rata-rata Tahunan). Data arus lalu lintas dibagi dalam tipe kendaraan, yaitu kendaraan tak bermotor (UM), sepeda motor (MC), kendaraan berat (HV) dan kendaraan ringan (LV).

Karakteristik Arus Lalu Lintas

Arus lalu lintas biasanya diukur dengan cara manual. Perhitungan dapat dilakukan terhadap kendaraan-kendaraan pada satu atau beberapa jalur gerak yang sejajar, misalnya semua kendaraan yang memasuki perpotongan jalan dari suatu jalan tertentu ataupun semua kendaraan yang memasuki perpotongan dari arah mana saja (Hariyanto, 2004).

Parameter Karakteristik Arus Lalu Lintas

Menurut Khristy, C. J dan B. Kent Lall (2005), terdapat delapan (8) variabel atau ukuran dasar yang digunakan untuk menjelaskan karakteristik arus lalu lintas. Tiga (3) variabel utama (makroskopis) adalah kecepatan (V), volume (Q) dan kepadatan/*density* (k). Tiga (3) variabel lain (mikroskopis) yang digunakan dalam analisis arus lalu lintas meliputi :

1. Volume lalu lintas (q). Volume adalah jumlah kendaraan yang diamati melewati suatu titik tertentu dari suatu ruas jalan selama rentang waktu tertentu. Volume lalu lintas dinyatakan dengan satuan kendaraan/jam atau kendaraan/hari atau smp/jam atau smp/hari.
2. Kecepatan (v). Kecepatan (*speed*) lalu lintas, dinyatakan dengan notasi v adalah perbandingan antara jarak tempuh kendaraan dengan waktu yang dibutuhkan oleh kendaraan.
3. Kerapatan/kepadatan (k). Kerapatan/kepadatan adalah jumlah kendaraan yang menempati suatu panjang jalan dan dinyatakan dalam satuan kendaraan/km.
4. *Spacing* (s). *Spacing* merupakan jarak antara dua kendaraan yang beruntun di dalam suatu aliran lalu lintas yang diukur dari bumper depan satu kendaraan ke bumper depan kendaraan di belakangnya.
5. *Headway* (h). *Headway* merupakan waktu antara dua kendaraan yang berurutan ketika melalui sebuah titik pada suatu jalan.
6. *Lane occupancy* (R). *Lane occupancy* merupakan salah satu ukuran yang digunakan dalam pengawasan jalan tol.
7. *Clearance* (c) dan *Gap* (g). *Clearance* dan *gap* berhubungan dengan *spacing* dan *headway*, dimana selisih antara *spacing* dan *clearance* adalah panjang rata-rata kendaraan. Demikian pula, selisih antara *headway* dan *gap* adalah ekuivalen waktu dari panjang rata-rata sebuah kendaraan.

Kapasitas (C)

Kapasitas adalah arus maksimum yang dapat dipertahankan per satuan jam yang melewati suatu segmen jalan dalam kondisi yang ada.

$$C = C_0 \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs} \quad (1)$$

Dimana :

- C = Kapasitas (smp/jam)
- C_o = Kapasitas dasar (smp/jam)
- FC_w = Faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas
- FC_{sp} = Faktor penyesuaian pemisahan arah
- FC_{sf} = Faktor penyesuaian kapasitas untuk hambatan samping dan lebar bahu
- FC_{cs} = Faktor penyesuaian ukuran kota

Hambatan Samping

Menurut MKJI 1997. Hambatan samping adalah dampak terhadap kinerja lalu lintas akibat kegiatan di samping/ di sisi jalan. Aktivitas samping jalan di Indonesia sering menimbulkan konflik, kadang-kadang besar pengaruhnya terhadap lalu lintas. Hambatan samping yang terutama berpengaruh pada kapasitas dan kinerja jalan perkotaan yang dimaksud meliputi :

- a) Pejalan kaki
- b) Angkutan umum dan kendaraan lain berhenti
- c) Kendaraan lambat (misalnya becak, kereta kuda) dan
- d) Kendaraan masuk dan keluar dari lahan di samping jalan.

Untuk menentukan kelas hambatan samping (SFC) dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Kelas hambatan samping

Kelas hambatan samping (SFC)	Kode	Jumlah berbobot kejadian	Kondisi khusus
Sangat rendah	VL	< 100	Daerah permukiman, jalan dengan jalan samping
Rendah	L	100 – 299	Daerah permukiman, beberapa kendaraan umum dan sebagainya
Sedang	M	300 – 499	Daerah industri, beberapa toko di sisi jalan
Tinggi	H	500 – 899	Daerah komersial, aktivitas sisi jalan tinggi
Sangat tinggi	VH	> 900	Daerah komersial dengan aktivitas pasar di samping jalan

(Sumber : Manual Kapasitas Jalan Indonesia, 1997)

Untuk analisa hambatan samping dapat dilihat dari persamaan berikut.

$$SFC = PED + PSV + EEV + SMV \quad (2)$$

Dimana :

- SFC = Kelas hambatan samping
- PED = Frekuensi pejalan kaki
- PSV = Frekuensi bobot kendaraan parkir

EEV = Frekuensi bobot kendaraan masuk/keluar sisi jalan

SMV = Frekuensi bobot kendaraan lambat

Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan adalah rasio dari arus lalu lintas (smp/jam) terhadap kapasitas jalan (smp/jam) dan digunakan sebagai faktor kunci dalam menilai dan menentukan tingkat kinerja suatu segmen jalan. Derajat kejenuhan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$DS = \frac{V}{C}$$

Dimana :

DS = Derajat kejenuhan

V = Kapasitas jalan (smp/jam)

C = Arus lalu lintas (smp/jam)

Tingkat Pelayanan Jalan / *Level of Services (LoS)*

Tingkat pelayanan adalah suatu ukuran yang digunakan untuk mengetahui kualitas antara ruas jalan tertentu dalam melayani arus lalu lintas yang melewatinya. Hubungan antara kecepatan dan volume jalan perlu diketahui karena kecepatan dan volume merupakan aspek penting dalam menentukan tingkat pelayanan jalan. Apabila volume lalu lintas pada suatu jalan meningkat dan tidak dapat mempertahankan suatu kecepatan konstan maka pengemudi akan mengalami kelelahan dan tidak dapat memenuhi waktu perjalanan yang direncanakan (Andar, 2018).

Tingkat pelayanan merupakan kualitas berdasarkan hasil ukuran yang penilaiannya tergantung pada beberapa faktor pengaruh, di antaranya kecepatan dan waktu perjalanan, gangguan lalu lintas, keamanan, layanan dan biaya operasional kendaraan. Tingkat pelayanan dipengaruhi beberapa faktor (Andar, 2018), antara lain :

- a) Kecepatan atau waktu perjalanan
- b) Hambatan atau halangan lalu lintas
- c) Kebebasan untuk manuver
- d) Kenyamanan pengemudi
- e) Biaya operasional kendaraan

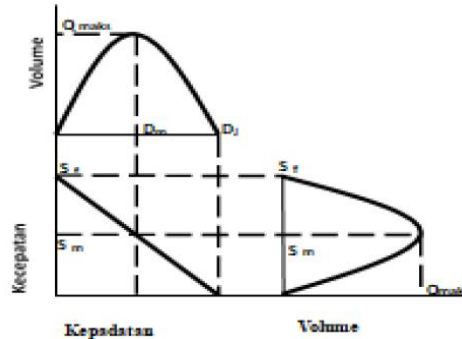
Tetapi semua faktor tidak dapat dihitung dengan sebenarnya sehingga dipergunakan dua (2) ukuran dalam menentukan tingkat pelayanan, yaitu (Andar, 2018) :

- 1) Kecepatan, dimana biasa dipakai kecepatan rata-rata
- 2) Rasio antara volume lalu lintas dengan kapasitas

Hubungan antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan

Hubungan antara ketiga parameter menggambarkan tentang aliran lalu lintas tak terinterupsi (*uninterrupted traffic stream*) dimana volume merupakan hasil dari kecepatan dan kepadatan.

Sementara itu, hubungan tersebut untuk lalu lintas yang stabil, kombinasi variabel yang menghasilkan hubungan dua dimensi. Gambar 2 berikut mengilustrasikan tentang bentuk umum hubungan tersebut (Tamin, 2000).



Gambar 1. Hubungan volume, kecepatan dan kepadatan
(Sumber : Tamin, 2000)

Dimana :

- Q_m = Kapasitas atau volume maksimum
- S_m = Kecepatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum
- D_m = Kepadatan pada kondisi volume lalu lintas maksimum
- S_f = Kecepatan pada kondisi volume lalu lintas sangat rendah
- D_j = Kepadatan kondisi volume lalu lintas macet total

Hubungan antara ketiga parameter utama (makroskopis) dalam aliran yang digunakan untuk mengetahui karakteristik arus lalu lintas dapat dinyatakan dalam hubungan matematis sebagai berikut (Direktorat Jenderal Bina Marga, 1990).

$$q = k * Us \tag{3}$$

$$Us = q/k \tag{4}$$

$$k = q/Us \tag{5}$$

Dimana :

- Q = Volume (kendaraan/jam)
- Us = Kecepatan (km/jam)
- k = Kepadatan (kendaraan/km)

Perlu diketahui arus “nol” (tidak ada arus) dalam dua (2) kondisi. Ketika tidak ada kendaraan di jalan raya berarti kepadatannya nol, dimana kecepatan teoritis didasarkan pada “kecepatan arus bebas” (*free flow speed*) yang merupakan kecepatan tertinggi bagi kendaraan yang sendirian. Namun demikian arus “nol” juga terjadi ketika kepadatan begitu tinggi sehingga kendaraan yang akan bergerak harus berhenti sehingga terjadi kemacetan lalu lintas yang disebut dengan istilah

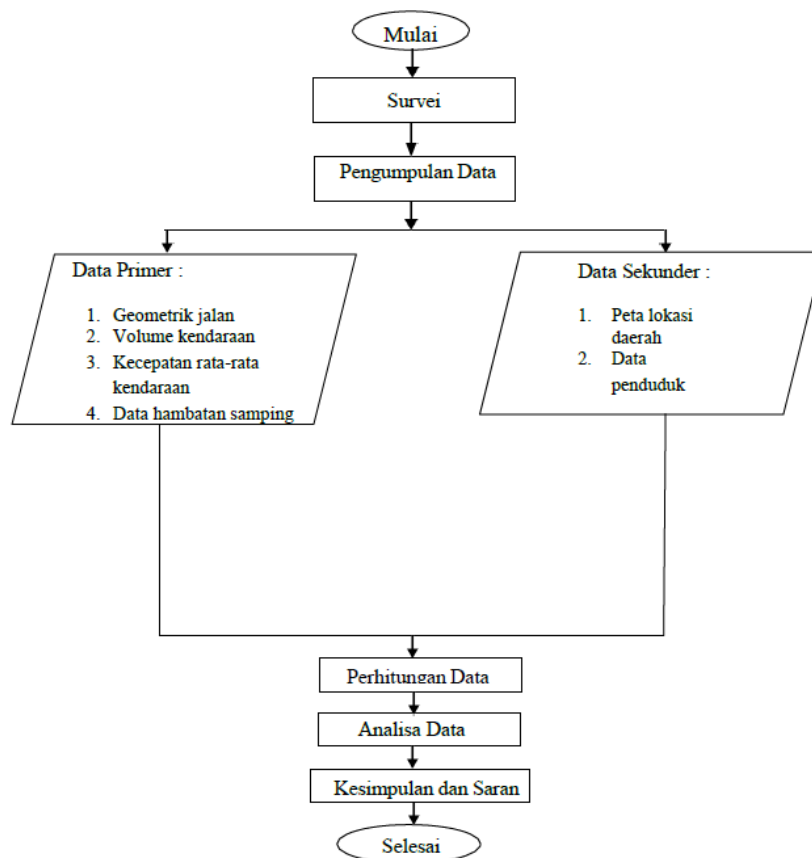
traffic jam. Pada kondisi ini semua kendaraan berhenti sehingga tidak ada kendaraan yang lewat pada suatu ruas jalan tersebut (Novrizal, 2010).

METODE PENELITIAN

Untuk mendapatkan data jumlah dan waktu tempuh kendaraan yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa interval waktu pengamatan lapangan maka ditetapkan selang waktu 1 jam. Penelitian ini dilakukan pada hari Senin, Rabu, Jumat dan Sabtu pada waktu selama jam-jam sibuk.

Sebelum dilakukan pengambilan data di lapangan secara lengkap, perlu dilakukan survei pendahuluan sebagai bahan pertimbangan yang sifatnya penjagaan. Kegiatan yang dilakukan pada survei pendahuluan ini adalah :

- a) Menentukan pilihan metode yang didasarkan pada kemampuan data yang hendak digunakan.
- b) Menaksir kebutuhan akan ukuran sampel yang akan diambil.
- c) Menentukan periode pengamatan/observasi yang dianggap penting.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Volume Kendaraan

Perhitungan analisis volume kendaraan tersebut dilakukan perhitungan di waktu hari paling banyak kendaraan yang melintasi (volume kendaraan maksimal).

Tabel 2. Perhitungan volume kendaraan (smp/jam) dengan hambatan sampung

Waktu	LV		HV		MC		Total	
	emp 1,00		emp 1,30		emp 0,40			
	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam
07.00-08.00	147	147	3	3,9	2595	1039	2745	1188,9
08.00-09.00	258	258	2	2,6	2655	1062	2828	1235,6
12.00-13.00	161	161	1	1,3	2558	1023,2	2776	1241,5
13.00-14.00	169	169	2	2,6	2565	1026	2782	1243,6
16.00-17.00	140	140	2	2,5	2572	1028,8	2735	1192,4
17.00-18.00	145	145	1	1,3	2794	1117,6	2940	1263,9

(Sumber : Hasil survei dan analisis, 2023)

Tabel 3. Perhitungan volume kendaraan (smp/jam) tanpa hambatan sampung

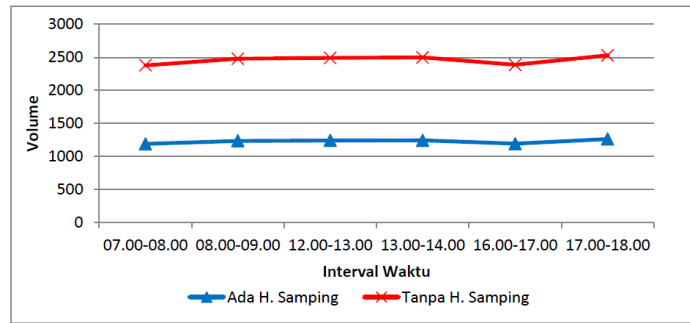
Waktu	LV		HV		MC		Total	
	emp 1,00		emp 1,30		emp 0,40			
	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam
07.00-08.00	150	150	3	3,9	2591	1036,4	2744	1190,3
08.00-09.00	272	272	2	2,6	2422	968,8	2696	1243,4
12.00-13.00	218	218	1	1,3	2578	1031,2	2797	1250,5
13.00-14.00	216	216	2	2,6	2590	1036	2808	1254,6
16.00-17.00	162	162	1	1,3	2579	1031,6	2742	1194,9
17.00-18.00	170	170	3	3,9	2730	1092	2903	1265,9

(Sumber : Hasil survei dan analisis, 2023)

Tabel 4. Rekapitulasi volume kendaraan

Waktu	Volume kendaraan (smp/jam)	
	Dengan hambatan sampung	Tanpa hambatan sampung
07.00- 08.00	1188,9	1190,3
08.00-09.00	1235,6	1243,4
12.00-13.00	1241,5	1250,5
13.00-14.00	1243,6	1254,6
16.00-17.00	1192,4	1194,9
17.00-18.00	1263,9	1265,9

(Sumber : Hasil survei dan analisis, 2023)



Gambar 3. Grafik volume kendaraan

(Sumber : Hasil survei dan analisis, 2023)

Berdasarkan Gambar 3 diatas, hasil analisis volume kendaraan pada kondisi tanpa hambatan samping, volume tertinggi daripada dengan hambatan samping dikarenakan kondisi jalan saat tanpa hambatan samping tidak menyebabkan kemacetan sehingga pengendara dapat berkendara dengan bebas dengan kecepatan rata-rata melaju tinggi menyebabkan semakin bertambahnya volume kendaraan pada ruas jalan tersebut sebaliknya dengan jalan kondisi ada hambatan samping.

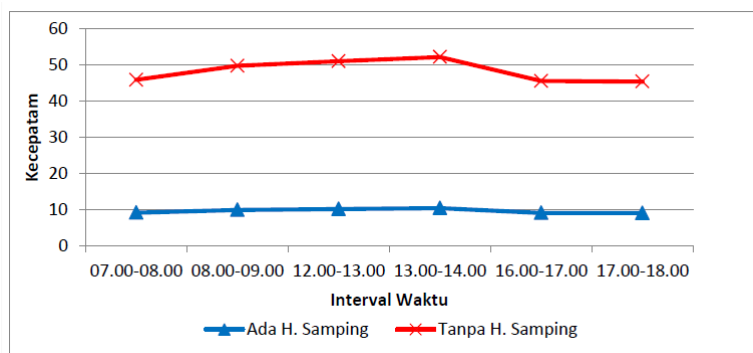
Hasil Analisa Kecepatan Kendaraan

Dari hasil survei diperoleh data waktu tempuh kendaraan sepanjang penggal jalan yang diamati, untuk analisis karakteristik arus lalu lintas kecepatan kendaraan yang digunakan kecepatan rata-rata ruang, maka dari itu kecepatan ruang dari masing-masing jenis kendaraan dapat dicari kecepatan rata-rata ruang kendaraan (Us).

Tabel 5. Kecepatan kendaraan ada dan tanpa hambatan samping

Waktu	Kecepatan rata-rata ruang (km/jam)	
	Kondisi ada hambatan samping	Kondisi tanpa hambatan samping
07.00-08.00	9,19	36,75
08.00-09.00	9,96	39,85
12.00-13.00	10,22	40,87
13.00-14.00	10,45	41,81
16.00-17.00	9,12	36,49
17.00-18.00	9,09	36,37

(Sumber : Hasil survei dan analisis, 2023)



Gambar 4. Grafik kecepatan kendaraan
(Sumber : Hasil survei dan analisis, 2023)

Berdasarkan Gambar 4, hasil analisis kecepatan kendaraan dalam kondisi tanpa hambatan samping ditunjukkan bahwa kecepatan lebih tinggi daripada dalam kondisi dengan hambatan samping. Hal ini dikarenakan pengemudi dapat lebih bebas untuk melaju dengan kecepatan tinggi dengan volume bertambah selagi ruas jalan tersebut tidak ada gangguan penyebab kemacetan yaitu gangguan hambatan samping.

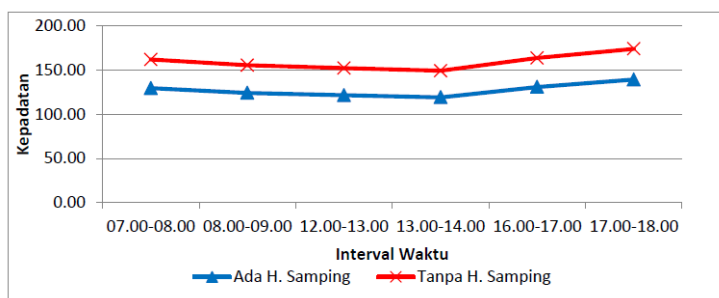
Hasil Analisis Kepadatan Lalu Lintas

Dengan memperhatikan hasil analisis volume dan kecepatan, maka diperoleh hasil perhitungan analisis kepadatan pada saat ada dan tanpa hambatan samping dijelaskan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil analisis kepadatan lalu lintas

Waktu	Kepadatan lalu lintas (smp/km)	
	Kondisi ada hambatan samping	Kondisi tanpa hambatan samping
07.00-08.00	129,37	32,39
08.00-09.00	124,06	31,20
12.00-13.00	121,48	30,60
13.00-14.00	119,00	30,01
16.00-17.00	130,75	32,75
17.00-18.00	139,04	34,81

(Sumber : Hasil survei dan analisis, 2023)



Gambar 5. Grafik kepadatan kendaraan
(Sumber : Hasil analisis, 2023)

Hasil analisis kepadatan kendaraan tertinggi pada kedua kondisi tersebut terdapat pada pukul 17.00 – 18.00 WIB, yaitu pada kondisi ada hambatan samping sebesar 139,04 smp/km dan kondisi

tanpa hambatan samping sebesar 34,81 smp/km. Data kepadatan pada grafik tanpa hambatan samping lebih tinggi daripada ada hambatan samping dikarenakan adanya hubungan antara volume dan kepadatan dimana kepadatan bertambah apabila volume juga bertambah.

Analisis Hubungan Antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan Metode Greenshield

Pemodelan Greenshield merumuskan persamaan hubungan matematis antara kecepatan dan kepadatan diasumsikan dalam bentuk linear. Dengan menggunakan persamaan $y = a + bx$.

1) Hubungan kecepatan dan kepadatan

Dengan diperolehnya persamaan $Y = a + bx$, maka hubungan antara kecepatan dan kepadatan dapat dirumuskan. Garis hasil persamaan akan memotong skala kecepatan pada kecepatan arus bebas (U_f) dan memotong skala kepadatan pada kepadatan (k_j) (Tamin, 2000).

Tabel 7. Data lapangan model Greenshield

No.	Data kecepatan (Y)	Data kepadatan (X)	Y ²	X ²	XY
1	9,19	129,37	84,46	16736,60	1188,91
2	9,96	124,06	99,20	15390,88	1235,64
3	10,22	121,48	104,45	14655,52	1237,23
4	10,45	119	109,20	14161,00	1243,55
5	9,12	130,75	83,17	17095,56	1192,44
6	9,09	139,04	82,63	19332,12	1263,87
Total	58,03	763,28	563,11	97371,69	7361,64

(Sumber : Hasil analisis, 2023)

Untuk mendapatkan nilai U_f dan K_j , maka berdasarkan persamaan regresi yaitu $y = a + bx$ dimana :

$$U_f = a = 19,27 \text{ km/jam}$$

$$K_j = \frac{U_f}{b} = 256,93 \text{ smp/jam}$$

Kemudian membentuk persamaan regresi :

$$U_s = U_f - \frac{U_f}{k_j \times k} = 19,27 - 0,075k$$

Dengan koefisien korelasi (r) adalah $r^2 = 0,83$; artinya bahwa kemampuan variabel bebas dalam mempengaruhi variabel terikatnya adalah sebesar 83%, sedangkan sisanya 17% lainnya dijelaskan oleh variabel lain selain variabel bebas.

2) Hubungan volume dan kecepatan

Hubungan volume dan kecepatan diperoleh dengan menggunakan persamaan dasar $q = U_s \times k$ dan selanjutnya memasukkan nilai $k = \frac{q}{U_s}$ ke dalam persamaan hubungan antara kecepatan dan kepadatan (Tamin, 2000).

$$Q = k_j \times \frac{U_s - k_j}{U_f \times U_s^2} = 256,93U_s - 13,33U_s^2$$

3) Hubungan volume dan kepadatan

Kepadatan akhirnya menghasilkan persamaan parabola untuk hubungan antara volume dan kecepatan. Untuk mendapatkan persamaan hubungan antara volume dan kepadatan, maka nilai $U_s = \frac{q}{k}$ disubstitusikan ke dalam persamaan kecepatan dan kepadatan (Tamin, 2000).

$$Q = U_f \times k - \frac{U_f}{k_j \times k^2} = 19,27k - 0,075k^2$$

Volume maksimum adalah :

$$Q_{maks} = \frac{(U_f \times k_j)}{4} = 1237,79 \text{ smp/jam}$$

Kecepatan pada saat volume maksimum didapatkan :

$$U_s = \frac{U_f}{2} = 9,64 \text{ km/jam}$$

Sedangkan kepadatan maksimum didapatkan $k = \frac{Q_{maks}}{U_{s \text{ maks}}} = 128,47 \text{ smp/km}$

Tabel 8. Parameter hubungan matematis Q – Us – k model Greenshield

Waktu survei	Nilai koefisien (a)	Koefisien regresi (b)	U _f (km/jam)	K _j (km/jam)	Q _{maks} (smp/jam)	U _s _{maks} (km/jam)	K _{maks} (smp/km)
Dengan hambatan samping							
Senin	9,75	0,004	9,75	130,07	317,20	4,88	65,03
Rabu	17,50	-0,062	17,50	233,31	1020,59	8,75	116,65
Jumat	17,30	-0,061	17,30	230,62	997,21	8,65	115,31
Sabtu	19,35	-0,076	19,35	257,95	1247,58	9,67	128,97
Tanpa hambatan samping							
Senin	79,10	-1,285	79,10	1054,69	20857,12	39,55	527,35
Rabu	69,80	-0,989	69,80	930,65	16239,43	34,90	465,32
Jumat	68,74	-0,966	68,74	916,50	15749,49	34,37	458,25
Sabtu	78,98	-1,261	78,98	1053,12	20794,81	39,49	526,56

(Sumber : Hasil analisis, 2023)

Tabel 9. Hubungan matematis Q – Us – k model Greenshield

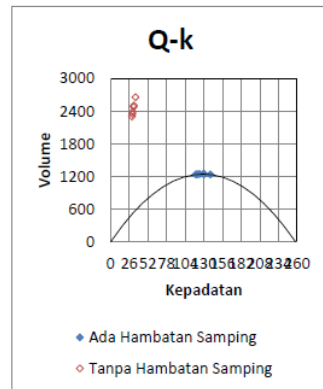
Waktu survei	U _s - k	Q - k	Q - U _s
Dengan hambatan samping			
Senin	9,75 – 0,075.k	9,75 – 0,075.k ²	130,07.U _s – 13,33.U _s ²
Rabu	17,50 – 0,075.k	17,50 – 0,075.k ²	233,31.U _s – 13,33.U _s ²
Jumat	17,30 – 0,075.k	17,30 – 0,075.k ²	230,62.U _s – 13,33.U _s ²
Sabtu	19,35 – 0,075.k	19,35 – 0,075.k ²	257,95.U _s – 13,33.U _s ²
Tanpa hambatan samping			
Senin	79,10 – 0,075.k	79,10 – 0,075.k ²	1054,69.U _s – 13,33.U _s ²
Rabu	69,80 – 0,075.k	69,80 – 0,075.k ²	930,65.U _s – 13,33.U _s ²
Jumat	68,74 – 0,075.k	68,74 – 0,075.k ²	916,50.U _s – 13,33.U _s ²
Sabtu	78,98 – 0,075.k	78,98 – 0,075.k ²	1053,12.U _s – 13,33.U _s ²

(Sumber : Hasil analisis, 2023)

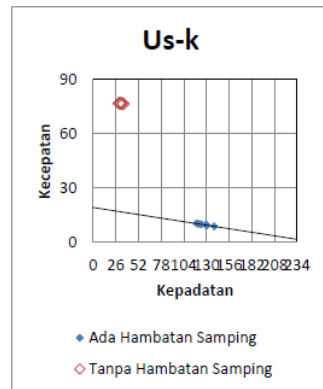
Tabel 10. Hasil pengujian statistik model Greenshield

Waktu survei	Koefisien determinasi (r^2)	Uji T	Uji F
Dengan hambatan samping			
Senin	0,004	0,12	0,01
Rabu	0,97	-11,37	129,37
Jumat	0,93	-7,31	53,43
Sabtu	0,83	-4,42	19,74
Tanpa hambatan samping			
Senin	0,93	-7,42	55,03
Rabu	0,97	-4,78	133,27
Jumat	0,94	-4,69	57,28
Sabtu	0,81	-4,36	16,85

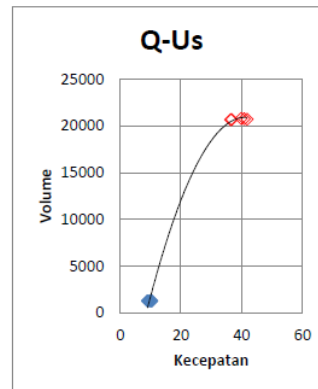
(Sumber : Hasil analisis, 2023)



(a) Grafik Hubungan Q-k



(b) Grafik Hubungan Us-k



(c) Grafik Hubungan Q-Us

Gambar 6. Grafik hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan model Greenshield
(Sumber : Hasil analisis, 2023)

Gambar 6 (a) menunjukkan bentuk kurva parabola dimana saat ada hambatan samping diperoleh volume maksimum terjadi pada saat kepadatan maksimum, saat mencapai kepadatan maksimum maka volume akan menurun walaupun kepadatan bertambah sampai terjadi kemacetan. Sedangkan Gambar 6 (b) menunjukkan kurva bentuk linear pada saat hambatan samping dimana kecepatan arus bebas akan terjadi apabila kepadatan sama dengan nol, pada saat kecepatan sama

dengan nol maka akan terjadi kemacetan. Dan Gambar 6 (c) menunjukkan kurva bentuk parabola pada saat hambatan samping dimana bertambahnya volume maka kecepatan rata-rata ruangnya akan berkurang sampai kepadatan kritis atau mencapai volume maksimum.

Analisis Hubungan Antara Volume, Kecepatan dan Kepadatan Metode Greenshield

Pemodelan Greenberg ini merumuskan persamaan hubungan matematis antara kecepatan dan kepadatan merupakan bentuk fungsi logaritmik. Setelah itu dilakukan transformasi linear.

1) Hubungan kecepatan dan kepadatan

Persamaan umum hubungan antara kecepatan dan kepadatan dengan cara regresi linear Greenberg adalah U_s (data kecepatan) dan $\ln k$ (dimana k sebagai data kepadatan) (Sudjana, 2002).

Tabel 11. Data lapangan model Greenberg

No.	Data kecepatan	Data kepadatan (X)	ln k (Y)	Y ²	X ²	XY
1	9,19	129,37	4,86	16737	23,6196	628,738
2	9,96	124,06	4,82	15391	23,2324	597,969
3	10,22	121,48	4,8	14656	23,04	581,088
4	10,45	119	4,78	14161	22,8484	568,82
5	9,12	130,75	4,87	17096	23,7169	636,753
6	9,09	139,04	4,94	19332	24,4036	686,858
Total	58,03	763,28	29,07	97372	140,861	3700,23

(Sumber : Hasil survei dan analisis, 2023)

Berdasarkan Tabel 11 di atas, maka ditentukan :

$$a = U_f = 8,7 \text{ km/jam} \qquad k_j = \exp(a/U_m = 2364,91 \text{ smp/jam}$$

$$b = 0,01 \qquad U_m = 0,01 \text{ km/jam}$$

Maka, persamaan logaritmik yang diperoleh adalah :

$$U_s = a - b x \ln k = 8,7 - 0,01 \ln k$$

Dengan koefisien korelasi (r^2) = 0,998; artinya bahwa kemampuan variabel bebas dalam mempengaruhi variabel terikat adalah sebesar 99,8% sedangkan sisanya sebesar 0,2% dijelaskan oleh variabel lain selain variabel bebas itu sendiri.

2) Hubungan volume dan kecepatan

Hubungan antara volume dan kecepatan didapatkan dari substitusi $k = \frac{q}{U_s}$ ke dalam persamaan $U_s = a - b x \ln k$ (Tamin, 2000).

Maka berdasarkan data lapangan, hubungan antara volume dan kecepatan dengan menggunakan model Greenberg adalah :

$$Q = U_s x k_j x \exp\left(\frac{-U_s}{U_m}\right) = 2364,91 x U_s x \exp\left(\frac{-U_s}{0,01}\right)$$

3) Hubungan volume dan kepadatan

Untuk mendapatkan persamaan hubungan antara volume dan kepadatan, maka nilai $U_s = \frac{q}{k}$ disubstitusikan ke dalam persamaan kecepatan dan kepadatan, sehingga menghasilkan

$$\text{persamaan (Tamin, 2000) yaitu } U_s = U_m \times \ln \left\{ \frac{k_j}{U_s} \right\}$$

Maka berdasarkan hasil lapangan, hubungan antara volume dan kepadatan didapatkan :

$$Q = a \times k - b \times k \times \ln k = 8,7 \cdot k - 0,01 \cdot k \cdot \ln k$$

Sehingga berdasarkan tiga (3) model Greenberg yang didapatkan diatas, maka dapat ditentukan Voume maksimum, adalah :

$$Q_{maks} = 8,7 \text{ smp/jam}$$

Kecepatan pada saat volume maksimum, adalah :

$$U_s = U_m = 0,01 \text{ km/jam}$$

Dan, kepadatan maksimum yaitu 870 smp/jam.

Tabel 12. Parameter hubungan matematis Q – Us – k model Greenberg

Waktu survei	Nilai konstanta (a)	Koefisien regresi (b)	U _r (km/jam)	K _j (km/jam)	Q _{maks} (smp/jam)	U _s _{maks} (km/jam)	K _{maks} (smp/km)
Dengan hambatan samping							
Senin	9,1	0,01	9,1	2473,64	9,1	0,01	910
Rabu	7,9	0,01	7,9	2147,44	7,9	0,01	790
Jumat	8,1	0,01	8,1	2201,81	8,1	0,01	810
Sabtu	8,7	0,01	8,7	2364,91	8,7	0,01	870
Tanpa hambatan samping							
Senin	39,9	0,03	39,9	3615,31	39,9	0,03	1330
Rabu	34,5	0,03	34,5	3126,02	34,5	0,03	1150
Jumat	35,2	0,03	35,2	3189,45	35,2	0,03	1173,33
Sabtu	37,7	0,03	37,7	3415,97	37,7	0,03	1256,67

(Sumber : Hasil analisis, 2023)

Tabel 13. Hubungan matematis Q – Us – k model Greenberg

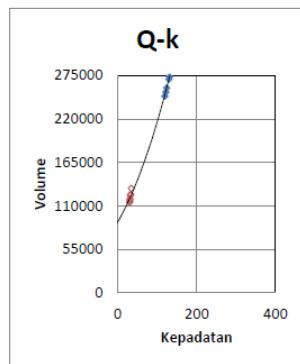
Waktu survei	U _s - k	Q - k	Q - U _s
Dengan hambatan samping			
Senin	9,1 – 0,01.ln k	9,1 – 0,01.k.ln k	2473,64.U _s .exp (-U _s /0,01)
Rabu	7,9 – 0,01.ln k	7,9 – 0,01.k.ln k	2147,44.U _s .exp (-U _s /0,01)
Jumat	8,1 – 0,01.ln k	8,1 – 0,01.k.ln k	2201,81.U _s .exp (-U _s /0,01)
Sabtu	8,7 – 0,01.ln k	8,7 – 0,01.k.ln k	2364,91.U _s .exp (-U _s /0,01)
Tanpa hambatan samping			
Senin	39,9 – 0,03.ln k	39,9 – 0,03.k.ln k	3615,31.U _s .exp (-U _s /0,01)
Rabu	34,5 – 0,03.ln k	34,5 – 0,03.k.ln k	3126,02.U _s .exp (-U _s /0,01)
Jumat	35,2 – 0,03.ln k	35,2 – 0,03.k.ln k	3189,45.U _s .exp (-U _s /0,01)
Sabtu	37,7 – 0,03.ln k	37,7 – 0,03.k.ln k	3415,97.U _s .exp (-U _s /0,01)

(Sumber : Hasil analisis, 2023)

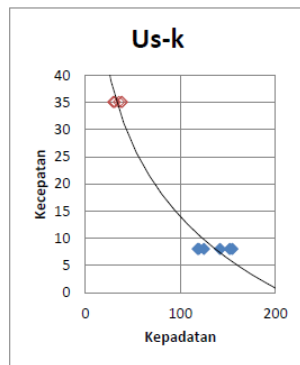
Tabel 14. Hasil pengujian statistik model Greenberg

Waktu survei	Koefisien determinasi (r^2)	Uji T	Uji F
Dengan hambatan samping			
Senin	0,628	1,45	6,74
Rabu	0,996	1,73	922,28
Jumat	0,999	1,73	3691,61
Sabtu	0,998	1,73	2456,63
Tanpa hambatan samping			
Senin	0,999	1,73	4401,4
Rabu	0,994	1,73	714,44
Jumat	0,998	1,73	1745,86
Sabtu	0,998	1,73	2248,29

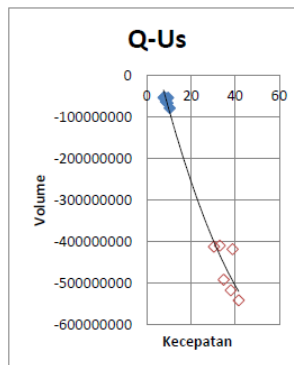
(Sumber : Hasil analisis, 2023)



(a) Grafik Hubungan Q-k



(b) Grafik Hubungan Us-k



(c) Grafik Hubungan Q-Us

Gambar 7. Grafik hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan model Greenberg
(Sumber : Hasil analisis, 2023)

Gambar 7 (a) menunjukkan bentuk kurva parabola dimana saat ada hambatan samping diperoleh volume maksimum terjadi pada saat kepadatan maksimum, saat mencapai kepadatan maksimum maka volume akan menurun walaupun kepadatan bertambah sampai terjadi kemacetan di titik kj. Gambar 7 (b) menunjukkan kurva bentuk logaritmik pada saat hambatan samping dimana kecepatan arus bebas akan terjadi apabila kepadatan sama dengan nol, dan pada saat kecepatan sama dengan nol maka akan terjadi kemacetan. Gambar 7 (c) menunjukkan kurva bentuk parabola

pada saat hambatan samping dimana bertambahnya volume maka kecepatan rata-rata ruangnya akan berkurang sampai kepadatan kritis atau mencapai volume maksimum.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan terhadap segmen jalan dengan adanya hambatan samping maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hubungan antara volume, kecepatan dan kepadatan lalu lintas model Greenshield yaitu hubungan linear antara volume (arus), kecepatan dan kepadatan lalu lintas yang dapat memberikan petunjuk untuk mendapatkan kapasitas maksimum dan pada model Greenberg yaitu hubungan logaritmik merupakan kebalikan dari perpangkatan dari ruas Jalan Patuan Anggi Kecamatan Sibolga Kota.
2. Kelas hambatan samping pada ruas Jalan Patuan Anggi Kecamatan Sibolga Kota termasuk ke dalam kelas hambatan samping tinggi (H) dan pengaruh hambatan samping terhadap tingkat pelayanan memiliki tingkat pelayanan E, dimana arus dipaksakan, kecepatan rendah, volume di atas kapasitas dan antrian panjang (macet).

DAFTAR PUSTAKA

- Andar. 2018. *Studi Pengaruh Hambatan Samping Terhadap Karakteristik Lalu Lintas Pada Ruas Jalan Sisingamangaraja*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1990. *Panduan Survei dan Perhitungan Waktu Perjalanan Lalu Lintas*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Hariyanto. 2004. *Sistem Pengendalian Lalu Lintas Pada Pertemuan Jalan Sebidang*. Skripsi. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Khisty, C. J. dan B. Kent Lall. 2005. *Dasar-Dasar Rekayasa Transportasi*. Cetakan I. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Sudjana. 2002. *Metode Statistika*. Bandung: Tarsito.
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R & D*. Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Tamin, O. Z. 2000. *Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*. 2nd. ITB: Bandung.
- Widodo, dkk. 2012. *Analisis Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalu Lintas Dengan Metode Greenshield dan Greenberg*. Semesta Teknika, 15 (2). 178 – 184.